



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES



N° d'ordre : M2.../GC/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie Chimique

Thème

**Étude du rendement de la production d'ammoniac au complexe
FERTIAL d'Arzew.**

Présenté par

1-M^{elle} SEBBANE Chahinez.

2-M^{elle} SOLTANE BENALLOU Ahlam.

Soutenu le 24 /09/ 2019 devant les membres du jury composé de :

Présidente :	Mme. KHALLADI	MAA	Université de Mostaganem.
Examinatrice :	M ^{lle} .DELALI	MAA	Université de Mostaganem.
Rapporteur :	Mr. MEKHATRIA	MCB	Université de Mostaganem.

Année Universitaire 2018/2019

Remerciements :

Nous remercions «Allah» d'avoir fait grandir en nous cette foi qui nous a permis de garder volonté et force afin d'assurer la tâche qui nous a été incombée de la façon la plus parfaitement possible.

En premier lieu, nos remerciements vont aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail et de manière particulière à madame KHELLADI pour avoir accepté de présider ce jury ainsi que mademoiselle DELLALI pour avoir accepté d'examiner ce travail

Nos remerciements et notre reconnaissance vont, ensuite, à notre encadreur, monsieur MEKHATRIA Djilali pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion ainsi que pour l'aide qu'il nous a apporté lors des différents suivis.

Nos remerciements s'adressent aussi au personnel du complexe FERTIAL pour nous avoir ouvert ses portes et nous a permis de réaliser et de réussir ce travail.

Que l'ensemble de nos enseignants de la faculté des sciences et technologies de l'université de Mostaganem, trouvent en ces termes l'expression d'une gratitude et d'une reconnaissance pour avoir fait de notre niveau ce qu'il est aujourd'hui.

A nos chers parents pour leur soutien constant et leurs encouragements aussi à nos chères familles et amis proches.

Au final à toutes personnes qui ont contribué à notre succès de près et de loin.

Résumé:

Le complexe FERTIAL où notre stage s'est déroulé est l'usine qui produit de l'ammoniac. Ce complexe rencontre des difficultés pour maintenir un niveau de production de 92% et il lui est impossible d'atteindre 100% de cette production. Ce problème qui a été opéré était la baisse de rendement de la production qui est reliée à la baisse du rendement de la turbine à vapeur du turbocompresseur qui injecte l'air procédés. Cette turbine dispose des ailettes où on a trouvé un dépôt blanchâtre et c'était que des phosphates qui ont été injectés au ballon séparateur pour la protection de la chaudière (circuit de la vapeur qui alimente la turbine).

Notre travail, qui entre dans le cadre d'un projet de fin d'étude de master en génie chimique dans le système LMD, a consisté à étudier ce problème et proposer une solution pour cela.

Mots clés :

FERTIAL, ammoniac, taux de production, process, air procédés, turbocompresseur, turbine à vapeur, dépôt blanchâtre, phosphate.

Sommaire

Introduction générale	8
Chapitre I : Présentation du complexe	9
I.1. Introduction :	10
I.2. Division FERTIAL :	10
I.3. Historique :	10
I.4. Situation géographique du complexe :	11
I.5. Organisation du complexe :	11
I.6. Objectif du complexe FERTIAL :	11
I.7. Normes et Certifications FERTIAL :	12
I.8. Procédé de fabrication de l'ammoniac	13
I.8.1 Reforming à la vapeur	14
I.8.2. Conversion du CO	14
I.8.3. Élimination de CO ₂ (décarbonatation)	15
I.8.4. Opération de méthanisation	15
I.8.5. Opération de compression du gaz de synthèse	15
I.8.6. Synthèse de l'ammoniac	15
I.8.7. Opération de condensation	16
I.8.8. Réfrigération de l'ammoniac	16
I.8.9. Stockage de l'ammoniac	16
Chapitre II : Investigations techniques et analyses du problème.	17
II.1. Introduction :	18
II.2. Généralité sur les turbocompresseurs :	18
II.2.1. La Turbine à vapeur:	18

II.2.1.1. Les composantes de la turbine à vapeur :	19
II.2.1.2. Les conditions de la vapeur motrice de la turbine:	19
II.3. Influence du débit d'air sur la synthèse de l'ammoniac :	20
II.4. Inspection de la turbine et diagnostique :	21
II.4.1. Analyse du dépôt blanchâtre :	22
II.5. Circuit d'obtention de la vapeur d'alimentation de la turbine.....	22
II.5.1. Injection du phosphate :	23
II.5.1.1 L'objectif d'injection du phosphate :	23
II.6. Analyses de l'eau traitée, l'eau de chaudière et la vapeur d'eau :	24
II.6.1. Procédures d'échantillonnage :	24
II.6.1.1. Prélèvement de la vapeur :.....	24
II.6.1.2. Prélèvement des fluide ED et ET :.....	25
II.6.2. Mesures physico-chimiques :	25
II.6.2.1. Mesure du potentiel hydrogène :	25
II.6.2.2. Mesure de la conductivité :.....	25
II.6.2.3. Analyses des chlorures, des ammoniums, des phosphates et de la silice :	25
II.6.2.4. Les résultats d'analyses de l'eau :	26
II.6.2.5. Analyse de la Vapeur d'alimentation de la turbine :	27
II.6.3. Simulation de production de la vapeur alimentant la turbine :	27
II.6.4. Estimation de la quantité de phosphate déposée sur la roue de la turbine :	27
II.7. Cause de la baisse du rendement de la turbine :	28
II.8. Proposition de solution au problème du dépôt de phosphate dans la turbine :	28
Conclusion	30

La liste des tableaux

Tableau II. 1 : condition de vapeur motrice [5].....	19
Tableau II. 2 : Quantité d'ammoniac produit en fonction de la charge	20
Tableau II. 3 : Pression Aval-roue durant 3 mois successifs.....	21
Tableau II. 4: Propriétés physico-chimiques du phosphate tris-sodique.	23
Tableau II. 5 : les modes opératoires des analyses	25
Tableau II. 6 : résultat d'analyse de l'eau traitée	26
Tableau II. 7 : résultat d'analyse l'eau de chaudière	26
Tableau II. 8: résultat d'analyse de phosphate de la vapeur.....	27
Tableau II. 9 : résultat d'analyse de phosphate de la vapeur similaire (condensée)	27
Tableau II. 10 : la quantité de phosphate dans la vapeur.....	27
Tableau II. 11 : variation des phosphate de 2013 à 2019 sorties ballon B1103.....	28

La liste des figures

Figure I. 1: photo FERTIAL spa ARZEW	11
Figure I. 2: organigramme du complexe FERTIAL.	11
Figure I. 3: diagramme des standards organisations implante à FERTIAL	12
Figure I. 4 : schéma de principe d'unité d'ammoniac I	13
Figure II.1 : schéma de turbocompresseur.	18
Figure II.2: Turbine à vapeur.	19
Figure II.3 : Pression Aval-roue durant 3 mois successifs	21
Figure II. 4: Dépôts sur les ailettes de la turbine.....	22
Figure II. 5 : schéma de circuit de la vapeur	23
Figure II.6 : Trajet de la production de vapeur.	24
Figure II. 7 : mesure du pH avec le « 867 pH module – metrohm AG »	25
Figure II. 8 : mesure de la conductivité « 856 conductivity module – metrohm AG »	25
Figure II.9: Comparaison entre vapeur similaire et vapeur prise au chantier	27
Figure II. 10 : graphe de variation de dosage du phosphate.....	28
Figure II. 11 : comparaison entre schéma réelle et schéma proposée.....	29

Abréviations

FERTIAL: Les Fertilisants d'Algérie.

SONATRACH : Société national de transport et de la commercialisation des hydrocarbures.

10 I : unité de production d'ammoniac n°01

10 II : unité de production d'ammoniac n°02

50 I/II/III : les unités des utilités

UAN: Urée Ammonitrate

NPK: Azote .Phosphate. Potassium

CAN: Calcium Ammonitrate

INRS : Institut national de recherche et de sécurité

Fluide : liquide / gaz

UE : Union européenne

ISO: international standard organisation

OHSAS: Occupational Health and Safety Assessment Series

MEA: Monoéthanolamine

TEA : Triéthanolamine

PE : prise d'échantillon.

BP: basse pression,

MP : moyenne pression,

HP: haute pression.

ET: eau traitée

ED: eau de Chaudière

PPM : Partie par million.

F : four

H : chaudière

K : compresseur

P : pompe

T : turbine

R : réacteur

Introduction générale

L'Algérie, en utilisant sa richesse en gaz naturel, a choisi une stratégie de développement de complémentarité entre l'industrie et l'agriculture par la création d'usines de production de fertilisants par des procédés à base d'ammoniac.

FERTIAL, complexe de production de fertilisants, est l'une des grandes usines productrice et exportatrice de l'ammoniac dans le monde qui utilise le gaz naturel et l'air atmosphérique, comme matières premières, pour la production d'ammoniac en utilisant l'eau de mer pour produire de la vapeur d'eau et comme fluide frigorigène.

La consommation d'ammoniac continue à croître, compte tenu de l'évolution de la population mondiale, car 87% de la production d'ammoniac sont convertis en fertilisants des sols ce qui a poussé le complexe FERTIAL à augmenter sa production afin de garantir une disponibilité suffisante de cette matière.

L'industrie chimique intervient, entre autres, dans la production des engrais azotés en passant par la synthèse de l'ammoniac. Ceci a attiré notre intérêt pour ce thème dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude.

Le complexe FERTIAL rencontre des difficultés pour maintenir le niveau de production à 92% et il lui est impossible d'atteindre les 100%.

Ce travail, qui entre dans le cadre d'un projet de fin d'étude de master en génie chimique dans le système LMD, a consisté en l'étude de ce problème durant un stage réalisé au complexe FERTIAL.

Cette étude est réalisée sur deux chapitres élaborés comme suit :

- Un premier chapitre où est présenté le complexe FERTIAL d'Arzew, ces différentes fonctionnalités, ses utilités ainsi que le procédé utilisé pour faciliter la compréhension du problème.
- Le deuxième chapitre prend en charge le problème du rendement du complexe et analyse les différentes étapes de la production pour proposer une solution.
- En fin, une conclusion et des recommandations.

Chapitre I

Présentation du complexe

I.1. Introduction :

FERTIAL, société des fertilisants d'Algérie, est une société issue d'un partenariat signé en août 2005 entre le groupe algérien ASMIDAL et le groupe espagnole Grupo Villar Mir. Installée à Annaba et Arzew, l'entreprise a une capacité de production annuelle d'un million de tonnes d'ammoniac dont une partie est utilisée pour la production d'engrais azotés et phosphatés.

I.2. Division FERTIAL :

L'entreprise FERTIAL est implantée sur deux sites ; le site de Annaba et celui d'Arzew.

- Usine d'Annaba :

Située dans la zone industrielle d'Annaba, l'usine s'étend sur une superficie de 103 hectares et emploie 700 personnes.

- Usine d'Arzew :

Située dans la zone industrielle d'Arzew (Oran), l'usine s'étend sur une superficie de 110 hectares et emploie 520 personnes.

I.3. Historique :

Avant l'engagement avec le groupe espagnol, FERTIAL avait signé en 1971 (ASMIDAL à l'époque) le contrat de construction d'ammoniac avec la société Française CREUSOTE LOIRE ENTREPRISE selon le procédé KELLOGG, et un deuxième contrat en juillet 1974 avec la société Autrichienne VOEST ALPINE pour la construction de deux unités d'acide nitrique et de nitrate d'ammonium en plus d'unités d'utilités qui fonctionnent, toutes les deux, selon le procédé CHIMICO.

Sa capacité de production annuelle, entre les sites industriels d'Annaba et d'Arzew, est d'un million de tonnes d'ammoniac où une partie est réutilisée pour la production d'une large gamme d'engrais azotés et phosphatés, d'acide nitrique, de nitrate d'ammonium etc.

I.4. Situation géographique du complexe :

Le complexe FERTIAL, d'une superficie de 110 ha avec un effectif de 520 employés, est situé au bord de la mer sur la plateforme industrielle d'Arzew à l'ouest d'Oran, à l'est d'Arzew et à l'ouest de Bethioua sur une superficie de 90 ha construite en 1970 et une autre zone de 20 ha construite en 1984.

Figure I. 1: photo FERTIAL spa ARZEW

I.5. Organisation du complexe :

L'usine d'Arzew FERTIAL se compose de plusieurs directions (Figure I. 2) :

- ✓ Direction de production.
- ✓ Direction de maintenance.
- ✓ Direction technique.
- ✓ Direction administration
- ✓ Direction ressources humaines.
- ✓ Direction finance.
- ✓ Direction sécurité.

Au complexe d'ammoniac et engrais azotés, la sécurité est instituée en département, et se compose de 03 services qui sont :

- Le service prévention.
- Le service intervention.
- Le service surveillance [2].

Figure I. 2: organigramme du complexe FERTIAL.

I.6. Objectif du complexe FERTIAL :

FERTIAL a trois objectifs essentiels :

- valoriser les hydrocarbures par un traitement local.

- dégager un surplus pour l'exportation des engrais et de l'ammoniac.
- Satisfaire la demande nationale en matière d'engrais azoté.

FERTIAL dispose de plusieurs unités pour pouvoir réaliser ces objectifs :

- unités de production de l'ammoniac.
- unités de production de l'acide nitrique.
- unités de nitrate d'ammonium.
- Trois centres utilités pour le traitement d'eau de mer, la production d'eau distillée et la production de vapeur d'eau.
- Un groupe turbo alternateur pour la production d'énergie électrique.
- Deux unités de stockages et de conditionnement des engrais.
- Un centre pour le stockage d'ammoniac.
- Un laboratoire pour les analyses chimiques et physiques.

I.7.Normes et Certifications FERTIAL :

Pour atteindre les plus hauts standards européens il y a eu l'implantation de toute une série de standards (Figure I. 3) pour l'efficacité opérationnelle dans les domaines de la qualité, l'environnement, la sécurité, l'excellence et la consommation de l'énergie. [3]

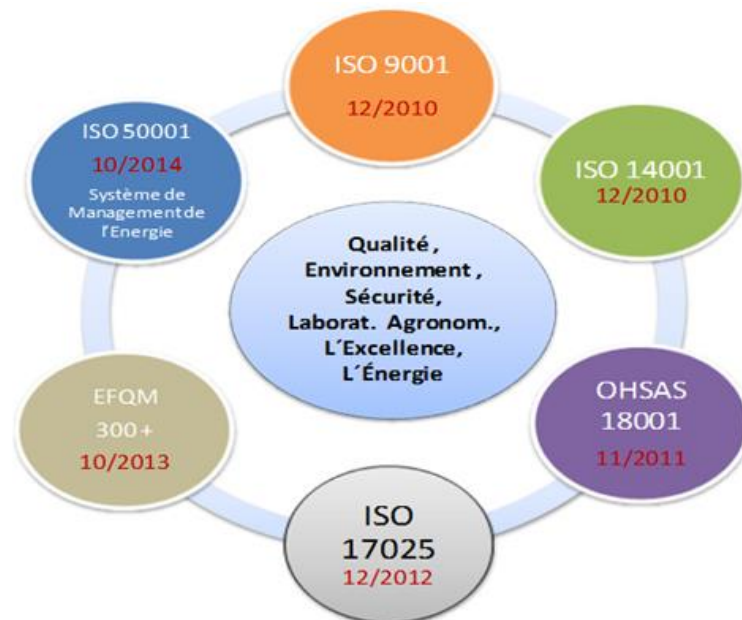


Figure I. 3: diagramme des standards organisations implante à FERTIAL

I.8. Procédé de fabrication de l'ammoniac

Le schéma du procédé est présenté à la (Figure I. 4)

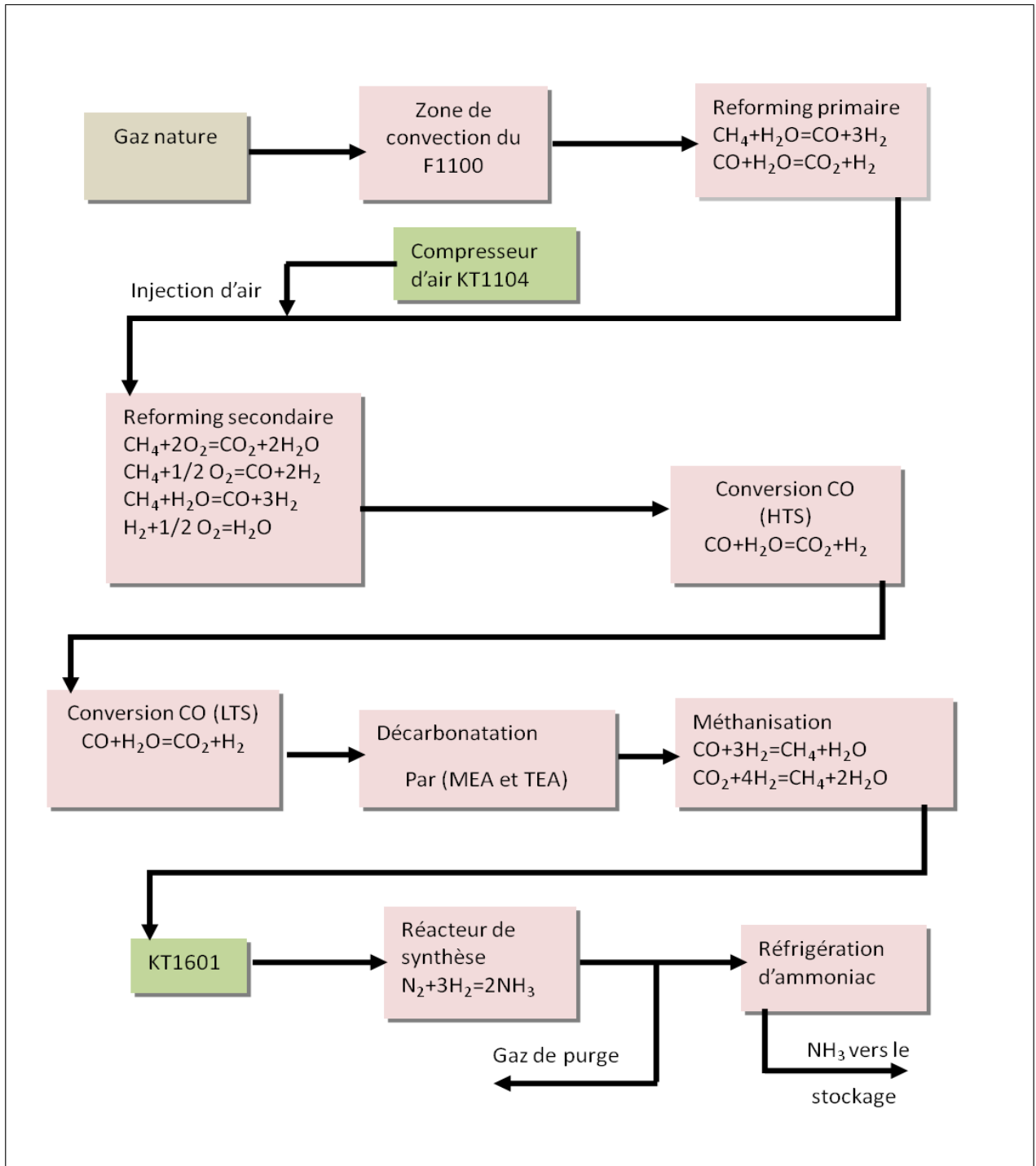


Figure I. 4 : schéma de principe d'unité d'ammoniac I

L'unité est conçue pour produire 1000 T/jour d'ammoniac anhydre suivant le procédé CHEMICO qui se déroule selon les opérations suivantes :

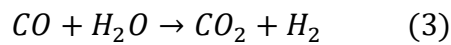
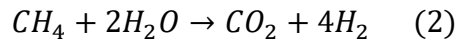
I.8.1 Reforming à la vapeur

Le procédé est effectué en deux étapes :

- Reforming Primaire.
- Reforming Secondaire.

Reforming Primaire.

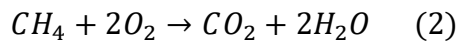
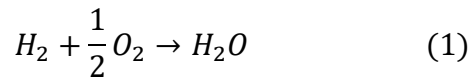
Le reforming primaire est une suite de réactions chimiques catalytiques qui sont :



Les réactions (1) et (2) sont endothermiques et la réaction (3) est exothermique.

Reforming Secondaire.

Les principales réactions chimiques qui se passent dans le reforming secondaire sont :



Les réactions (1) et (2) sont exothermiques et les réactions (3) et (4) sont endothermiques.

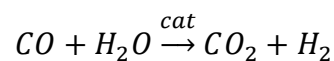
Le gaz procédé, à la sortie du reforming secondaire, a une température de 970°C et une teneur en CH₄ inférieure à 0,45%.

I.8.2. Conversion du CO

Le gaz venant de la chaudière de récupération est envoyé au convertisseur primaire R1102 à haute température (347°C à l'entrée et 440°C à la sortie) où le CO est convertie en CO₂, ce qui réduit son taux de 12 à 2.8%.

Le CO₂ passe dans un convertisseur secondaire à basse température R1104 (210°C à l'entrée et 230°C à la sortie) où le CO sera réduite de 2.85 à 0.35%.

La réaction chimique qui se produit dans l'opération de conversion est la suivante :

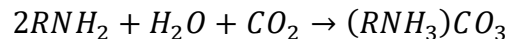


Le catalyseur utilisé dans le convertisseur primaire est constitué de 80% d'oxyde de fer et 8.5% d'oxyde de chrome.

Le catalyseur utilisé dans le convertisseur secondaire est de 56% d'oxyde de cuivre et 30% d'oxyde de zinc.

I.8.3. Élimination de CO₂ (décarbonatation)

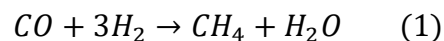
Le CO₂ et la vapeur d'eau sont éliminés du gaz dans la section décarbonatation. Le gaz carbonique est éliminé par absorption successive avec une solution Triéthanolamine (TEA) et la Monoéthanolamine (MEA) jusqu'à 500ppm. La vapeur d'eau est éliminée par condensation.



Une partie du CO₂ éliminé du gaz est récupéré pour être envoyé au Complexe de production d'azote (LINDE GAS) et le reste est envoyé à l'atmosphère.

I.8.4. Opération de méthanisation

Le CO et CO₂ résiduels sont transformés en méthane (CH₄) dans l'opération de Méthanisation catalytique. La teneur en CO et CO₂, à la sortie, doit être inférieure à 10ppm.



I.8.5. Opération de compression du gaz de synthèse

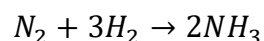
Le gaz de synthèse est comprimé dans cette phase de 160 à 234 bars pour être introduit au circuit de synthèse d'ammoniac.

I.8.6. Synthèse de l'ammoniac

Le réacteur de synthèse R1701 est l'organe le plus important de toute l'unité.

Le gaz traité est amené à une température de 350 – 410°C, permettant l'auto réaction en partie interne du réacteur en présence d'un catalyseur composé d'oxydes de fer Fe₃O₄ (91%).

La réaction exothermique de synthèse prend lieu et produit de l'ammoniac gazeux selon la réaction :



Le réacteur de synthèse est en position verticale et comprend une double enveloppe fonctionnant comme échangeur et trois lits catalytiques où la réaction de synthèse se produit.

Le méthane et l'argon ne sont pas des poisons pour le catalyseur mais, inertes dans la réaction, ils s'accumulent dans le recyclage du gaz non converti et sont éliminés par une purge continue.

Le four de démarrage F1701 est utilisé au moment de la mise en route de l'installation pour porter le gaz de synthèse à la température de réaction.

I.8.7. Opération de condensation

Le gaz converti, en quittant le réacteur de synthèse, passe dans une série d'échangeurs où il est refroidi jusqu'à 18°C pour la récupération de l'ammoniac liquide dans le ballon B1704.

I.8.8. Réfrigération de l'ammoniac

La réfrigération de l'ammoniac sert, d'une part, à refroidir l'ammoniac produit à -33°C avant de l'envoyer aux bacs de stockage et, d'autre part, de l'utiliser comme fluide réfrigérant dans l'installation.

I.8.9. Stockage de l'ammoniac

Le stockage de l'ammoniac s'effectue dans deux bacs,. Ils sont équipés d'indicateurs de niveau et de pression où l'ammoniac est stocké à pression atmosphérique à -33°C.

La synthèse de l'ammoniac nécessite l'injection de l'air sous pression. Ce dernier est injecté dans le réacteur via un turbocompresseur.

Chapitre II

Investigations techniques et analyses du problème.

II.1. Introduction :

Le turbocompresseur d'air est l'une des plus puissantes machines tournantes, c'est un équipement stratégique, considéré comme le cœur de l'unité ammoniac. Son rôle est de comprimer l'air procédé pour l'injecter au niveau du reforming secondaire pour obtenir l'azote (N_2) nécessaire à la synthèse de l'ammoniac.

II.2. Généralité sur les turbocompresseurs :

Les machines tournantes interviennent dans presque tous les domaines industriels où a lieu l'échange de puissance par rotation, la transformation d'énergie d'une forme à une autre et la création d'énergie.

Il est important de porter une attention particulière aux ailettes de la turbine, aux contraintes qu'elles subissent et à leur conception, étant l'élément responsable du rendement de ces machines.

La turbine utilisée au complexe FERTIAL est la turbine à vapeur type qui entraîne le compresseur d'air (Figure II.1).

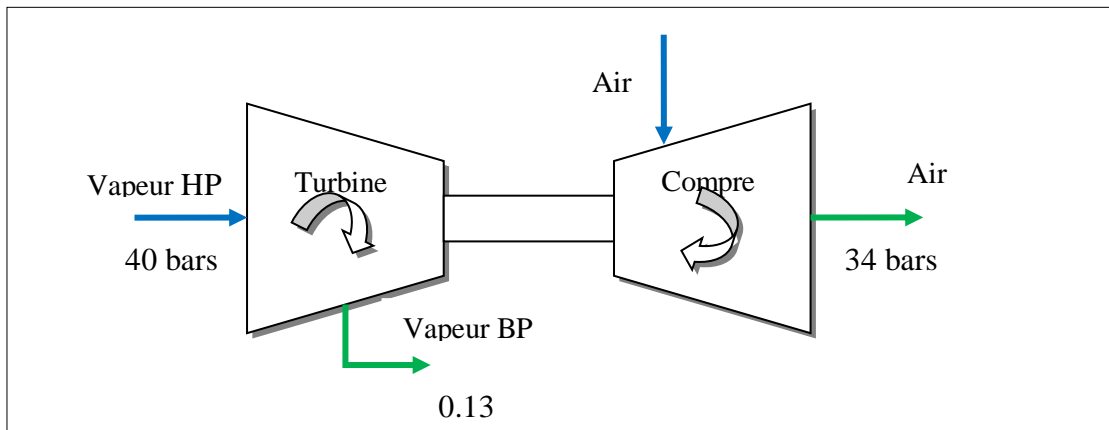


Figure II.1 : schéma de turbocompresseur.

II.2.1. La Turbine à vapeur:

Dans les turbines à condensation, la vapeur admise à haute pression (40 bars) est habituellement surchauffée pour éviter la condensation à l'intérieur. La vapeur d'échappement est à faible pression par rapport à la pression d'admission et elle est inférieure à la pression atmosphérique (0,13 bars).

Cette vapeur est refroidie et condensée dans un échangeur à eau de mer.

Figure II.2: Turbine à vapeur.

II.2.1.1. Les composantes de la turbine à vapeur :

Elle comprend trois éléments essentiels :

a) Le Stator :

Il est constitué de deux parties, supérieure et inférieure, assemblées au joint horizontal médial.

La partie supérieure porte la boîte à soupape d'admission tandis que la partie inférieure porte la turbine d'échappement.

b) Le Rotor :

Il est en acier forgé du type monobloc et il est constitué de

- 6 étages simples.
- 2 étages bases pression.
- Des ambages en acier à 13% de chrome.

c) Les Paliers :

Ils sont équipés de coussinets garnis de métal antifricction dont la portée est dimensionnée pour assurer la stabilité de la fibre d'huile de graissage dans toutes les situations.

Les coussinets sont du type à patin axillant et la poussée des ambages est encaissée par une butée à patin. [4]

II.2.1.2. Les conditions de la vapeur motrice de la turbine:

Tableau II. 1 : condition de vapeur motrice [5]

La turbine à vapeur entraîne le compresseur centrifuge d'Air procédé. Le débit maximum de refoulement du compresseur est (Tableau II. 2), il correspond au débit maximum pour 100% de produit (ammoniac).

II.3. Influence du débit d'air sur la synthèse de l'ammoniac :

Le Tableau II. 2, regroupe plusieurs combinaisons de débits gaz/air pour différents pourcentages de produits

Tableau II. 2 : Quantité d'ammoniac produit en fonction de la charge

La production d'ammoniac dépend du débit de gaz (CH_4), du débit de vapeur et du débit d'air.

L'unité, actuellement, fonctionne avec un rendement de 92% ce qui correspond à une production journalière d'environ, capacité de production optimale de l'unité.

Selon les informations recueillies pendant le stage, ce taux de production à été relevé jusqu'à 92% suite à des efforts de la part du personnel cumulés aux travaux de maintenance dont a fait objet le complexe ces dernières années.

Les efforts du personnel ont concerné l'augmentation du débit d'air pour arriver à la valeur de. Les résultats (Tableau II. 2) ont montré que toutes les tentatives pour augmenter le rendement ont été vaines et le maintien du taux à 92% exige et impose des efforts constants et permanents pour le maintien du débit d'air.

Cette situation laisse apparaître une avarie qui bloc l'augmentation du débit d'air et risque de faire chuter le rendement.

Pour faire face au problème, les paramètres de la turbine et du compresseur ont été vérifiés.

Pour ce qui est de la turbine la vérification a concerné:

- Conditions d'alimentation de la turbine en vapeur.
- Les conditions de sorties de la turbine.

Pour le compresseur, le taux de compression a été vérifié et a donné des valeurs conformes à celles définies par le constructeur.

Les paramètres des deux équipements sont normaux signifiant que l'avarie peut être au niveau interne à la turbine elle-même, et donc, l'inspection de cette dernière devient obligatoire.

II.4. Inspection de la turbine et diagnostique :

La turbine utilisée fonctionne à la vapeur surchauffée, dont l'inspection minutieuse a montré un changement de pression de l'aval-roue ; cette dernière a augmenté par rapport à sa valeur normale.

Un deuxième contrôle est effectué dans la partie inférieure de la turbine et a montré que la pression est basse et que le vide est régulier signifiant que cette partie fonctionne normalement.

Dans la partie supérieure, 1^{er} Roue de la turbine, l'augmentation de la pression par rapport aux valeurs normales est synonyme de dysfonctionnement.

Un relevé de la pression de l'aval-roue durant trois mois est représenté au Tableau II. 3 et à Figure II.3

Tableau II. 3 : Pression Aval-roue durant 3 mois successifs

Figure II.3 : Pression Aval-roue durant 3 mois successifs

Ces résultats montrent que la pression normale de l'aval-roue représente la moitié de la pression d'entrée dans la turbine. En d'autres termes, une marche normale de la turbine fait diminuer de moitié la pression d'entrée.

Durant ces trois derniers mois, la pression de l'aval-roue est restée toujours au-dessus de la valeur normale et a atteint la valeur maximale ce qui signifie que la pression d'entrée au niveau de l'aval-roue a diminué de .

Cette faible diminution de la pression d'entrée indique une faible transmission de l'énergie de la vapeur vers la turbine se répercutant sur le compresseur qui développe une pression de l'air insuffisante aux besoins de la synthèse. Ceci montre que l'avarie provient de la roue de la turbine et non du compresseur.

Ce constat a conduit à l'inspection interne de la turbine pour vérifier ses composantes mécaniques après son ouverture.

Une fois le démontage du corps de la turbine réalisé, on a constaté un dépôt d'une substance blanchâtre sur les ailettes de la turbine (Figure II.4 B). Cette partie de la roue de la turbine a été comparée à celle d'une roue propre (Figure II.4 A)

Figure II. 4: Dépôts sur les ailettes de la turbine.

On a procédé à un prélèvement d'un échantillon de cette substance déposée sur les ailettes de la turbine pour l'analyser au laboratoire.

La seule protection de la chaudière contre le tartre pratiquée au complexe est l'ajout des phosphates, ce qui fait des phosphates l'élément principal de la substance blanchâtre déposée sur les ailettes.

Ceci a axé la recherche qualitative du dépôt vers les phosphates.

II.4.1. Analyse du dépôt blanchâtre :

Pour cette analyse, le spectrophotomètre UV-visible de marque Thermo EVOLUTION 201 a été utilisé avec les réactifs ci-après, selon un mode opératoire classique répondant au modèle utilisé en spectrophotométrie visible, à savoir un développement de coloration avec le phosphate.

Les Réactifs sont :

- 50 ml d'échantillon (échantillon préparé par dilution de 5mg de dépôt dans 100 ml d'eau distillé)
- 1 ml de solution d'acide sulfurique dilué au $\frac{1}{4}$
- 10 ml de solution de molybdate d'ammonium à 2.5%
- 4ml d'acide aminonaphtole sulfonique.
- Durée de développement de la coloration : 20 min

Les résultats ont montré que le dépôt est du phosphate à 2,191 mg/l

Ce résultat signifie que la quantité de dépôt prélevée contient 2,191 mg/l de phosphate, ce qui impose à poser la question suivante : d'où proviennent les phosphates déposés ?

Pour répondre à cette interrogation, il faut revenir sur le circuit de la vapeur pour l'examiner.

II.5. Circuit d'obtention de la vapeur d'alimentation de la turbine

Le circuit de la vapeur d'eau destinée à la turbine est représenté en Figure II. 5

Figure II. 5 : schéma de circuit de la vapeur

L'ET venant de l'unité de traitement des eaux est envoyée par des pompes vers le ballon B1103, en passant par le préchauffeur dans la zone de convection du four (reforming primaire) pour élever sa température. L'ET, dont les paramètres sont de, est envoyée par les pompe de circulation vers les chaudières de récupération et branchées en parallèle, pour produire une vapeur à haute pression.

La chaleur du gaz procédé, produit par le reforming secondaire est récupérée pour la production de la vapeur qui est renvoyée vers le ballon séparateur. Cette vapeur sera transmise vers les préchauffeurs () au niveau du four du reforming primaire en zone de convection, pour chauffer la vapeur avant de la fournir à la turbine (HP) du compresseur de synthèse ().

II.5.1. Injection du phosphate :

Les phosphates (PO_4^{-3}) sont injectés dans l'ED à l'aide d'une pompe d'ajout manuelle juste à l'entrée du ballon (Figure II.6). Il s'agit du phosphate trisodique, un sel solide de composition chimique Na_3PO_4 et dont les propriétés sont présentées au Tableau II.4

Tableau II. 4: Propriétés physico-chimiques du phosphate tris-sodique.

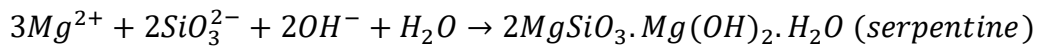
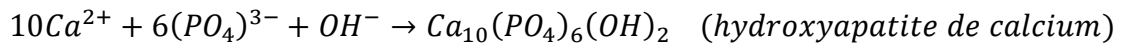
<i>Propriété</i>	<i>Valeur</i>
Formule chimique brute	Na_3PO_4
Masse molaire	163,94 g/mol [6]
T°fusion	73,5 °C
Solubilité	110,0 g/l dans l'eau à 20°C, insoluble dans l'éthanol

II.5.1.1 L'objectif d'injection du phosphate :

Les phosphates, associés à l'alcalinité de l'eau des chaudières de récupérations, neutralisent la dureté par formation de phosphate tricalcique, composé insoluble que l'on peut disperser puis évacuer par les purges de fond en continue.

Ils sont utilisés pour contrôler le pH de l'eau de chaudière et permettent d'éviter la corrosion acide ou alcaline des parois internes de cette dernière.

La réaction du phosphate avec les sels de calcium, de magnésium et de la silice forme des précipités non adhérents, aisément éliminables sous forme de boues avec les purges [7] selon les réactions :



L'injection des phosphates par la pompe, sous forme de solution aqueuse, est à mi-chemin entre le dégazeur et le ballon séparateur (Figure II.6). L'ajout est réalisé en excès par rapport à la valeur imposée par le design, ce qui amène la concentration des phosphates dans l'eau de la chaudière à une concentration nettement supérieure à celle requise.

Figure II.6 : Trajet de la production de vapeur.

Les analyses du dépôt blanchâtre relevé sur l'aval-roue ont montré qu'il s'agit du phosphate, provenant, à notre avis, de l'excès réalisé par la pompe doseuse (point B Figure II.6).

Selon les déclarations du personnel du complexe, le ballon séparateur en marche normale, montre des variations importante de niveau d'eau qu'il contient étant épurateur de la vapeur des gouttelettes d'eau qu'elle contient ; la vapeur provient de la chaudière. Ceci a conduit à analyser l'eau d'alimentation de la chaudière et la vapeur produite

II.6. Analyses de l'eau traitée, l'eau de chaudière et la vapeur d'eau :

Ces analyses ont consisté en :

II.6.1. Procédures d'échantillonnage :

II.6.1.1. Prélèvement de la vapeur :

La vapeur a été prélevée selon les étapes suivantes à l'aide d'un barboteur.

- Connexion du barboteur
- Rinçage de la ligne de prélèvement et du barboteur
- Échantillonnage
- Isolement du barboteur
- Déconnexion du barboteur.

II.6.1.2. Prélèvement des fluides ED et ET :

Les différentes opérations effectuées sont :

- mise en place de la bouteille
- purge et rinçage de l'ensemble ligne de raccordement et bouteille
- prise de l'échantillon

II.6.2. Mesures physico-chimiques :

II.6.2.1. Mesure du potentiel hydrogène :

Le potentiel hydrogène, noté pH, mesure l'activité chimique des hydrons (H^+), protons ou ions hydrogène, en solution aqueuse. L'analyse détermine l'acidité ou la basicité de la solution. [8]

II.6.2.2. Mesure de la conductivité :

La conductivité sert à déterminer l'ensemble des minéraux présents dans une solution. Elle est exprimée en micro siemens par centimètres ($\mu S/cm$). [8]

Le matériel utilisé est présenté en Figure II. 7 pour ce qui est de la détermination du pH et en Figure II. 8 pour ce qui est de la conductivité.

Figure II. 7 : mesure du pH avec le « 867 pH module – metrohm AG »

Figure II. 8 : mesure de la conductivité « 856 conductivity module – metrohm AG »

Les réactifs utilisés ainsi que les modes opératoires adoptés sont ceux décrits par les manuels des deux appareils.

Les résultats sont présentés au (Tableau II.6 et Tableau II.7)

II.6.2.3. Analyses des chlorures, des ammoniums, des phosphates et de la silice :

L'ensemble des analyses est regroupé dans le (Tableau II.5) qui contient l'élément à déterminer, les réactifs utilisés ainsi que le principe de la mesure et l'appareillage utilisé. [10]

Tableau II. 5 : les modes opératoires des analyses

II.6.2.4. Les résultats d'analyses de l'eau :

Les résultats d'analyses de l'eau de chaudière et de l'eau traitée sont regroupés au Tableau II. 6

Tableau II. 6 : résultat d'analyse de l'eau traitée

Tableau II. 7 : résultat d'analyse l'eau de chaudière

Les résultats concernent les journées du 27 et du 28 février 2019. Pour l'eau traitée (Tableau II.7), toutes les valeurs obtenues sont normales par rapport aux valeurs design.

Pour ce qui est de l'eau de chaudière (Tableau II.6), les résultats montrent des écarts de valeurs très importantes comparées à celles du design. Ces valeurs concernent :

- la conductivité qui montre un taux de minéralisation important.
- Les chlorures.
- Les phosphates dont la valeur maximale ne doit pas dépasser 5mg/l.

L'augmentation de la conductivité est causée par la teneur importante des phosphates et celle des chlorures.

Pour remédier à cette situation et ramener les paramètres à leurs valeurs normales, une analyse du circuit de l'eau de chaudière a été réalisée et a montré que :

1. L'eau traitée, avant de l'introduire dans la chaudière, séjourne dans le ballon qui sert de séparateur des gouttelettes de la vapeur produite ; cette dernière alimente la turbine en vapeur surchauffée (Figure II.6).
2. L'ajout des phosphates s'effectue via une pompe d'ajout manuelle, dont la quantité ajoutée n'est pas celle requise.

Ces conclusions ont imposé la réalisation de d'autres analyses qui ont concerné, surtout, la vapeur d'eau produite par la chaudière qui alimente la turbine. Un seul paramètre a été analysé ; les phosphates, étant l'élément constituant les dépôts blanchâtres.

Remarque : la vapeur produite transite, elle aussi, par (Figure II.6) pour être asséchée (Figure II. 5).

II.6.2.5. Analyse de la Vapeur d'alimentation de la turbine :

Les analyses ont été réalisées au mois de mars dont les résultats sont regroupés au Tableau II. 8.

Tableau II. 8: résultat d'analyse de phosphate de la vapeur

Ces résultats montrent, pour la seconde fois, que les phosphates sont présents avec une quantité importante par rapport à la quantité fixée par la norme qui est de 0 mg/l.

A titre comparatif, de la vapeur a été condensée pour y subir l'analyse du taux de phosphate pour le comparer à ceux du

Tableau II. 8 .

II.6.3. Simulation de production de la vapeur alimentant la turbine :

Pour réaliser cette simulation, une quantité d'ED a été introduite dans un ballon pour être vaporisée par chauffage. La vapeur produite est condensée et les phosphates sont, ensuite, analysés, comme précédemment. Les résultats obtenus sont résumé au Tableau II. 9.

Tableau II. 9 : résultat d'analyse de phosphate de la vapeur similaire (condensée)

Ces résultats montrent une quantité de phosphate importante et similaire à celle du Tableau II.8 dont la comparaison des deux tableaux est représentée en Figure II.9.

Figure II.9: Comparaison entre vapeur similaire et vapeur prise au chantier

La comparaison montre clairement que les résultats obtenus par simulation et ceux par analyse de la vapeur récupérée du chantier sont similaires.

II.6.4. Estimation de la quantité de phosphate déposée sur la roue de la turbine :

D'après les données recueillis on a estimé le pourcentage de passage des phosphates avec la vapeur d'alimentation de la turbine.

Pour ce faire les résultats sont présentés sur le Tableau II. 10.

Tableau II. 10 : la quantité de phosphate dans la vapeur

La quantité de phosphate déposée sur la roue représente de la quantité totale injectée en solution.

Pour parfaire ces résultats, ils ont été comparés,

Tableau II. 11 et Figure II. 10, avec ceux des années précédentes.

Tableau II. 11 : variation des phosphate de 2013 à 2019 sorties ballon B1103

Figure II. 10 : graphe de variation de dosage du phosphate

Cette figure laisse apparaître qu'à l'exception des années.

II.7. Cause de la baisse du rendement de la turbine :

Suite au problème du tartre déposé sur les parois de la chaudière de récupération de vapeur haute pression , pour protéger les tubes de cette dernière et, ainsi, prolonger sa durée de vie, on a opté pour augmenter la concentration du phosphate dans l'eau de chaudière,.

La Figure II.10 montre que le dépôt des phosphates sur les roues de la turbine provient de l'augmentation du dosage du phosphate dans l'eau de chaudière à partir de . Ceci a entraîné une diminution du rendement suite au rétrécissement de la section de passage de la vapeur au niveau des ailettes [11] et un changement de la configuration mécanique des roues ce qui s'est traduit par l'augmentation de la pression Aval-Roue comme le montre le Tableau II.3 et Figure II.3.

II.8. Proposition de solution au problème du dépôt de phosphate dans la turbine :

Le problème rencontré pour maintenir et augmenter le rendement de l'obtention de l'ammoniac au complexe FERTIAL est causé par le dépôt de phosphate. Ce dernier diminue

les performances et se répercute sur le compresseur causant, ainsi, une injection insuffisante d'air dans le processus de fabrication de l'ammoniac

Le phosphate qui cause le dépôt blanchâtre dans la turbine.

Pour la résolution ce problème nous recommandons une solution en trois étapes.

Étape 1 :

Étape 2 :

.

Étape 3 :

Ces étapes sont schématisées en Figure II. 11

Figure II. 11 : comparaison entre schéma réelle et schéma proposée

Conclusion

ANNEXES

Annexe 1



OHSAS 18001 : Référentielle sécurité de l'entreprise (la société doit assurer une gestion rigoureuse et efficace de la santé et la sécurité au travail).



ISO 9001 : norme internationale qui détaille les exigences auxquelles doit satisfaire le système de management de la qualité de l'entreprise.



ISO 14001: Management du processus opérationnel et productif en respectant l'environnement et avec critères d'efficacité dans l'usage des matières premières et management des rejets



ISO50001 : Système de management de l'énergie exigeance et recommandation mise en œuvre .A l'international l'efficacité énergétique est la clé pour le développement stratégique des entreprises

Annexe 2

Schéma de reforming primaire et secondaire (four F1101 et réacteur R1101)

Annexe 3

Spectrophotomètre Thermo Evolution 201 UV-visible

Annexe 4

La courbe d'étalonnage du phosphate

Annexe 5

Verriers :

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] : Archive ammoniac centre interprofessionnel
- [2] : Archive ammoniac centre interprofessionnel technique d'étude du problème atmosphérique (CITEPA).
- [3] : manuel opératoire de management et gestion de normalisation.
- [4] : manuel opératoires de compresseur d'aire K/ _ unité d'ammoniac _ turbinier NH₃L.
- [5] : manuel opératoires de compresseur d'aire K/ _ unité d'ammoniac _ turbinier NH₃L.
- [6] : Masse molaire calculée d'après « [Atomic weights of the elements 2007](#) » [archive], sur www.chem.qmul.ac.uk.
- [7] : Steam engineering traitement chimiques des eaux de la chaudière «[http:// mypowerengineer.blogspot.com/p/atraitement-chimiques-des-eaux-de-la.html ?M=1](http://mypowerengineer.blogspot.com/p/atraitement-chimiques-des-eaux-de-la.html?M=1) ».
- [8] : mémoires fin d'étude : analyses des eaux de réseau Bejaïa et évaluation de leur pouvoir entartant Mr : R. KETRANE et Mr : S.S KHANTECHE.
- [9] : documentation laboratoire : laboratoire contrôle qualité Fertial.
- [10] : E.A.KRAFT, traduit par G.LEHR -la turbine à vapeur en exploitation –montage – service – troubles –Paris : Dunod, 1956.